

Géochronologie U–Pb sur zircon de granitoïdes éburnéens et panafricains dans les boutonnières protérozoïques d'Igherm, du Kerdous et du Bas Drâa (Anti-Atlas occidental, Maroc)

Eburnian and Panafrican granitoids from the Igherm, Kerdous and Bas-Draa Proterozoic inliers (western Anti-Atlas, Morocco): U–Pb geochronology on zircon

Halima Aït Malek^a, Dominique Gasquet^{b,c*}, Jean-Michel Bertrand^d, Jacques Leterrier^a

^a CRPG–CNRS, BP 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, France

^b CRPG–CNRS, BP 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, France

^c ENS Géologie, BP 40, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, France

^d LGCA, Université de Savoie, Domaine universitaire, 73376 Le-Bourget-du-Lac cedex, France

Abstract—U–Pb ages obtained from zircons of granitoids from the Proterozoic western Anti-Atlas confirm the existence of Palaeoproterozoic magmatism in the inliers of Igherm (Ait Makhoulouf granite: $2\,050 \pm 6$ Ma) and Bas Drâa (Sidi Saïd granite: $1\,987 \pm 20$ Ma) and neoproterozoic magmatism in the inliers of Bas Drâa (Taourgha granite: 575 ± 4 Ma) and Kerdous (Tarçouate granodiorite: 583 ± 11 Ma, Tarçouate gabbro-diorite: 560 ± 2 Ma). The emplacement of these granitoids is therefore polycyclic: Eburnian and Panafrican. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

U–Pb geochronology / zircons / Palaeoproterozoic / Neoproterozoic / western Anti-Atlas / Morocco

Résumé — L'étude géochronologique U–Pb, réalisée sur des zircons de granitoïdes des boutonnières protérozoïques de l'Anti-Atlas occidental, a permis d'identifier des âges paléoprotérozoïques dans les boutonnières d'Igherm (granite des Ait Makhoulouf : $2\,050 \pm 6$ Ma) et du Bas Drâa (granite de Sidi Saïd : $1\,987 \pm 20$ Ma) et des âges néoprotérozoïques dans les boutonnières du Bas Drâa (granite de Taourgha : 575 ± 4 Ma) et du Kerdous (granodiorite de Tarçouate : 583 ± 11 Ma ; gabbro-diorite de Tarçouate : 560 ± 2 Ma). La mise en place de ces granitoïdes appartient aux cycles éburnéen et panafricain ; elle est donc polycyclique. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

géochronologie U–Pb / zircons / Paléoprotérozoïque / Néoprotérozoïque / Anti-Atlas occidental / Maroc

Note présentée par Jacques Angelier.

Note remise le 3 septembre 1998, acceptée après révision le 19 octobre 1998.

* E-mail : gasquet@crpg.cnrs-nancy.fr

Abridged version

Introduction

Two orogenic events are usually recognized in the Anti-Atlas Proterozoic inliers of South Morocco (*figure 1*): an Eburonian event, Palaeoproterozoic in age, and a younger neoproterozoic Panafrican event (Choubert, 1963; Choubert and Faure-Muret, 1970; Charlot, 1982; Jeannette et al., 1981; Hassenforder, 1987). Previously published whole rock Rb–Sr ages (Charlot, 1982) from the Bas Drâa and Kerdous inliers include: $1\,965 \pm 32$ Ma (Tamousift granite), $1\,960 \pm 57$ Ma (Aouinat Aït Oussa granite), $1\,693 \pm 33$ Ma (Oued Chaïba granite), $1\,988 \pm 40$ Ma (Tahala granite), 625 ± 26 Ma (Tarçouate granodiorite), 549 ± 15 Ma (Tafraoute granite), 536 ± 11 Ma (Agouni-Yessène granite), 540 ± 10 Ma (Ida ou Gougmar granite) and 604 ± 26 Ma (Tazeroualt granite). However, a recent paper (Nachit et al., 1996) questions the existence of two events and favours, especially for the Kerdous inlier, a monocyclic evolution during the Panafrican orogeny. The aim of this paper is to check this assumption with the help of a U–Pb study of zircons from several plutonic bodies attributed from field evidence or previous geochronological data either to a Palaeo- or Neoproterozoic event. Analysed intrusives are: the Aït Makhoulouf granite (IGH 3) from the Igherm inlier; the Sidi Saïd granite (TB12) and the Taourgha granite (GRF) from the Bas Drâa inlier; the Tarçouate granodiorite (KER 1) and associated gabbro-diorite (KER 7) from the Kerdous inlier.

U and Pb isotopic composition of zircons (*table*) were measured for small morphologically homogeneous fractions (50 to 100 crystals), most of them being air-abraded (Krogh, 1982). Zircon digestion followed the procedure described by Parrish et al. (1987) and two aliquots—a mixed spike ^{208}Pb – ^{235}U being added to one of them—were eluted on anionic resin using HCl (Krogh, 1973). Measured ratios and errors were corrected from analytical blank (35–103 pg during this study), initial common lead (Stacey et Kramers, 1975) and mass discrimination.

Palaeoproterozoic granites

The Aït Makhoulouf porphyritic granite (IGH 3), Igherm inlier, is mylonitised and altered. It shows a chemical composition of a peraluminous adamellite, with a subalkaline tendency (rich in Ba, Sr, Zr and REE). Zircon types, according to Pupin (1980), are mostly S7–S17 types (calc-alkaline). SEM images (back-scattered electron mode, *figure 2*) show a regular zoning, sometimes 'patchy' (Pidgeon, 1992) and occasional well-defined nuclei. On a Concordia diagram (*figure 3*), analytical points are almost concordant (3 out of 4) and define an upper intercept at $2\,050 \pm 6$ Ma, ($MSWD = 7.27$) interpreted as the emplacement age of the granite. The distribution of the points along a direct discordia tends to exclude lead inheritance. Thus, the observed nuclei can be related to an early crystallization stage.

The Sidi Saïd granite (TB12), Bas Drâa inlier, is a porphyritic biotite (\pm muscovite)-bearing, syntectonic granite according to Ikenne et al. (1997). Zircon types have not been

determined—poor quality crystals—and no nuclei are evidenced on SEM images. Analytical points are discordant and yielded a poorly defined upper intercept at $1\,987 \pm 20$ Ma ($MSWD = 3.56$), interpreted as close to the emplacement age of the granite. This age is within error when compared with other granites dated in the same inlier (Charlot, 1982), Tamousift ($1\,965 \pm 32$ Ma) and Aouinat Aït Oussa ($1\,960 \pm 57$ Ma).

Neoproterozoic granitoids

The Tarçouate granodiorite (KER 1), Kerdous inlier, constitutes the central unit of a complex acid-basic plutonic body (Nachit, 1994). The mineral assemblage comprises plagioclase (An 22–29), microcline perthite, hornblende, biotite, with accessory sphene, zircon, apatite and allanite. Chemical composition is metaluminous and subalkaline, rich in Ba, Sr and REE. Zircon types are S2–S3–S7–S8–S13, which characterize monzogranites and granodiorites. SEM images (*figure 2*) show a regular magmatic zoning with many apatite inclusions and the larger grains show a nebulitic nucleus. Analytical points are discordant and poorly aligned ($MSWD = 6.05$), they define an upper intercept at 583 ± 11 Ma (*figure 3*), interpreted as a good estimate for the emplacement age. However, this age is significantly younger than the Rb–Sr age of 625 ± 26 Ma obtained on the same plutonic body (Charlot, 1982), the latter age being presumably explained by the hybrid character of the massif.

The Tarçouate gabbro-diorite (KER 7) is richer in hornblende and plagioclase than the previous sample. Its chemical composition is that of a metaluminous diorite with an alkaline tendency, rich in Ba, Sr and REE. Zircon types are scattered on Pupin's grid (1980) but centred on types S2–S3–S8 suggesting a calc-alkaline monzogranite (Pupin, 1980). SEM images show a complex pattern with unzoned patches superimposed upon a primary zoning, similar to recrystallisation pattern described by Pidgeon (1992) and no obvious nucleus. Analytical points define a well-aligned discordia ($MSWD = 0.76$) with an upper intercept at 560 ± 2 Ma and a subconcordant point. This age is significantly younger than the age of the associated granodiorite although field evidence suggests a synchronous emplacement. Such a difference may be explained by the contrasted internal structures observed in the zircons: inherited nuclei for the granodiorite versus evidence of late recrystallisation for the gabbro-diorite. As there is no evidence for a post-emplacement metamorphism in the region, a suggested alternative is the occurrence of a slightly older inheritance in the zircons of the granodiorite.

The Taourgha granite (GRF), Bas Drâa inlier, is a post-tectonic porphyritic granite with a composition of Fe-rich alkaline leucogranite rich in Ba, Rb, Zr and REE. Zircons are small, good quality crystals. SEM images show an oscillatory zoning, often displaying sector zoning, and no nuclei. Analytical points define a well aligned discordia ($MSWD = 0.15$) with an upper intercept at 575 ± 4 Ma interpreted as the emplacement age.

Conclusion

U–Pb ages on zircons from three of the Anti-Atlas Proterozoic inliers confirm the duality of the Eburnian and Panafrican Rb–Sr ages previously proposed by Charlot (1982). As there is no reason to distinguish the Kerdous inliers from the two

neighbouring inliers, except for a possible blind fault beneath the Palaeozoic cover (Choubert, 1963; Leblanc and Lancelot, 1980), our data suggest that the Eburnian ages proposed for Tahala and Tasserhirt (Charlot, 1982) in the Kerdous inlier are correct and that the tectonic evolution of this inlier was polycyclic.

1. Introduction

La structuration des formations protérozoïques de l'Anti-Atlas occidental (figure 1) est classiquement considérée comme résultant de la succession de deux épisodes orogéniques : l'un paléoprotérozoïque « éburnéen », l'autre néoprotérozoïque « panafricain » (Choubert, 1963 ; Choubert et Faure-Muret, 1970 ; Charlot, 1982 ; Jeannette et al., 1981 ; Hassenforder, 1987). Ce modèle a été conforté par une approche géochronologique (Charlot, 1982), par la méthode Rb–Sr sur roches totales, réalisée sur plusieurs unités granitiques de l'Anti-Atlas occidental (figure 1), qui a mis en évidence, notamment dans les boutonnières du Bas Drâa et du Kerdous, l'existence d'âges Éburnéen et Panafricain : 1965 ± 32 Ma (granite de Tamousift), 1960 ± 57 Ma (granite d'Aouinat Aït Oussa), 1693 ± 33 Ma (granite de l'Oued Chaïba), 1988 ± 40 Ma (granite de Tahala), 625 ± 26 Ma (granodiorite de Tarçouate), 549 ± 15 Ma (granite de Tafraoute), 536 ± 11 Ma

(granite d'Agouni-Yessène), 540 ± 10 Ma (granite des Ida ou Gougmar) et 604 ± 26 Ma (granite de Tazeroualt). Toutefois, des travaux structuraux entrepris récemment dans la boutonnière du Kerdous (Nachit et al., 1996) remettent en question l'existence, dans l'Anti-Atlas occidental, de ces deux épisodes orogéniques, montrant que les structures, dans le Kerdous, seraient plutôt monocycliques, et d'âge Panafricain.

L'objectif principal de cette étude a été de préciser, par la méthode U–Pb sur zircon, l'âge de plusieurs unités granitiques de trois boutonnières et, ainsi, de vérifier les âges Éburnéen et Panafricain des cycles orogéniques de l'Anti-Atlas occidental. Les échantillons datés proviennent du granite des Aït Makhlouf (IGH 3) dans la boutonnière d'Igherm, des granites de Sidi Saïd (TB12) et de Taourgha (GRF) dans la boutonnière du Bas Drâa, de la granodiorite (KER 1) et de la gabbro-diorite associée (KER 7) de Tarçouate dans la boutonnière du Kerdous.

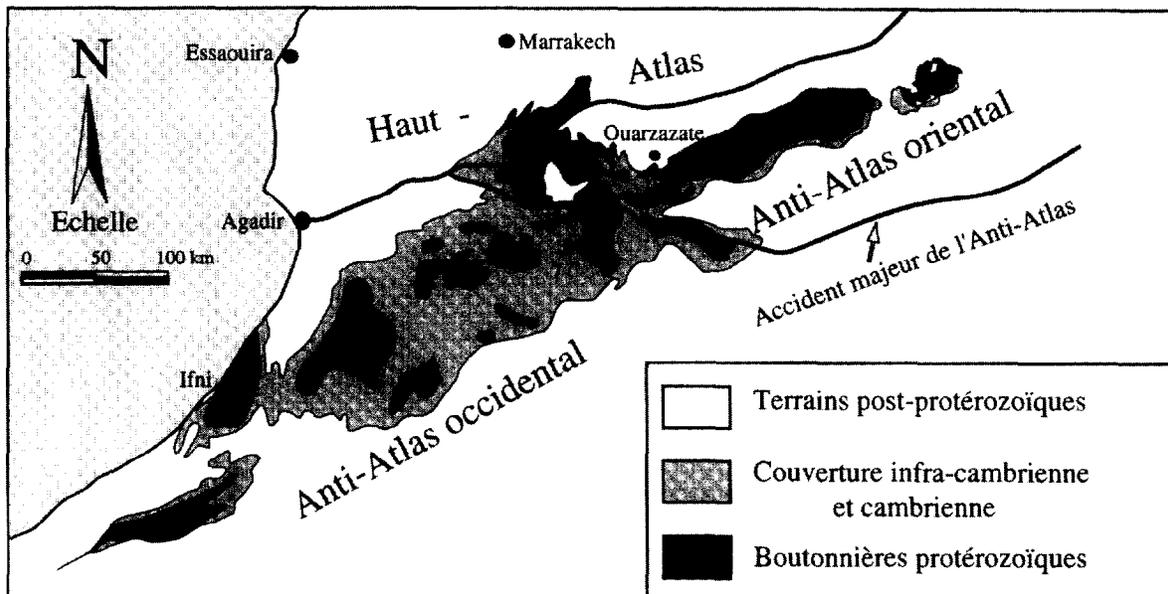


Figure 1. Principaux affleurements du Protérozoïque dans l'Anti-Atlas et localisation des boutonnières (d'après Choubert, 1963). 1 : Bas Drâa, 2 : Ifni, 3 : Kerdous, 4 : Tagragra d'Akka, 5 : Igherm, 6 : Agadir Melloul, 7 : Iguerda, 8 : Zenaga, 9 : Bou-Azzer, 10 : Siroua, 11 : Ouzellarh, 12 : Saghro et 13 : Ougnat.

Geological sketch map of the Proterozoic inliers from the Moroccan Anti-Atlas (after Choubert, 1963).

2. Méthodologie

Les données isotopiques (*tableau*) ont été obtenues par la méthode U–Pb sur zircon. Nous avons séparé des lots morphologiquement homogènes de 50 à 100 grains abrasés à l'air, pour certains d'entre eux, afin d'éliminer les zones corticales altérées et de rechercher des points concordants (Krogh, 1982). La préparation chimique inclut : lavage des zircons à HNO₃ 3N, digestion en bombes Téflon (HF + HNO₃ concentrés) à 240 °C (Parrish et al., 1987), reprise par HCl 3N en bombe à 180 °C. Deux aliquotes ont été séparées, l'une d'elles étant additionnée d'un traceur mixte ²⁰⁸Pb–²³⁵U, et éluées sur résine anionique en milieu HCl (Krogh, 1973). Pendant la durée de cette étude, les blancs de Pb ont varié de 35 à 103 pg. L'analyse isotopique a été réalisée sur spectromètres de masse Finnigan MAT 262 et Cameca TSN 206. Le calcul des marges d'erreur tient compte des blancs, du plomb commun initial (Stacey et Kramers, 1975), de la discrimination de masse et des incertitudes sur les rapports mesurés.

3. Les granites paléoprotérozoïques

3.1. Le granite des Aït Makhlof (IGH 3)

Ce granite, prélevé à proximité du Douar Tighmi n'Targa est porphyroïde, plus ou moins mylonitisé et altéré. La paragenèse primaire est masquée par le développement des minéraux d'altération (chlorite, épidote et muscovite) ; sphène et zircon sont les accessoires majeurs. L'échantillon a une composition d'adamellite fortement peralumineuse (peut-être du fait de l'altération), avec une tendance subalcaline liée à la richesse en Ba, Sr, Zr et terres rares. Les zircons du granite des Aït Makhlof présentent une typologie variée se regroupant autour des types S7–S17, typiques de granitoïdes calco-alcalins (Pupin, 1980). Au MEB (*figure 2*), ils sont quasiment tous zonés, avec parfois des textures nébuleuses (*patchy zoning*; Pidgeon, 1992) et présentent, pour certains, des noyaux bien individualisés. Les points analytiques du granite des Aït Makhlof sont très peu discordants et s'alignent mal (*MSWD* = 7,27) le long d'une discordia directe (*figure 3*), qui intercepte la concordia à $2\,050 \pm 6$ Ma. Cet âge, bien contrôlé par la fraction subconcordante C1–1a (0,99 % de discordance, âge ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb de $2\,052 \pm 4$ Ma), peut s'interpréter comme celui de la mise en place du massif. La distribution des points le long d'une discordia directe exclut l'existence de plomb hérité. Par conséquent, les noyaux observés au MEB correspondent très vraisemblablement à une étape précoce dans l'histoire de la cristallisation des zircons.

3.2. Le granite de Sidi Saïd (TB12)

Ce granite, syntectonique (Ikenne et al., 1997), est un granite gris porphyroïde à biotite (± muscovite). Il est constitué de plagioclase (An 18 à 30), feldspath potassi-

que, biotite et quartz interstitiel. Les minéraux accessoires sont essentiellement représentés par du zircon et de l'apatite. L'échantillon a une composition de granodiorite peralumineuse à biotite, caractérisée par de faibles teneurs en TR (< 36 ppm) dont le spectre est très peu fractionné. Les zircons sont en général bien cristallisés, semi-transparents, limpides, mais parfois opaques et métamictes, et, en général, microfracturés. Compte tenu du faible nombre de grains indexables, l'étude typologique des zircons du granite de Sidi Saïd et du granite de Taourgha (cf infra) n'a pas été entreprise. Au MEB (*figure 2*), ils montrent une zonation faible et irrégulière sans noyau individualisé. Les points analytiques du granite de Sidi Saïd sont discordants (*figure 3*) et s'alignent le long d'une discordia directe de qualité moyenne (*MSWD* = 3,56), dont l'intercept supérieur donne un âge à $1\,987 \pm 20$ Ma, qui peut s'interpréter comme celui de la mise en place du massif. Cet âge s'intègre bien, aux marges d'erreur près, dans les gammes des âges proposés par Charlot (1982) pour le granite de Tamousift ($1\,965 \pm 32$ Ma) et le granite d'Aouinat Aït Oussa ($1\,960 \pm 57$ Ma), qui appartiennent tous deux à la même boutonnière.

4. Les granites néoprotérozoïques

4.1. La granodiorite et la gabbro-diorite associée de Tarçouate

L'échantillon (KER 1) correspond au faciès central de l'unité granodioritique du massif de Tarçouate (Kerdous), définie par Nachit (1994). C'est une roche à gros grain à plagioclase (An 22–29), microcline perthitique, hornblende et biotite, avec comme minéraux accessoires sphène, zircon, apatite et allanite. Elle a une composition de granodiorite légèrement métalumineuse riche en alcalins, Ba, Sr et TR. La population de zircons de la granodiorite KER 1 est assez homogène et se concentre essentiellement dans les types S2, S3, S7, S8 et S13 caractéristiques des zircons de monzogranites-granodiorites. Observés au MEB (*figure 2*), ils font apparaître un zonage assez régulier de type magmatique, ainsi qu'une omniprésence d'inclusions essentiellement d'apatite. Certains cristaux (> 100 µm) possèdent des noyaux présentant une structure nébulitique floue, avec parfois des noyaux multiples, qui semblent avoir subi une recristallisation partielle. Les points analytiques de la granodiorite de Tarçouate, peu discordants, sont médiocrement alignés (*MSWD* = 6,05), le long d'une discordia directe dont l'intercept supérieur correspond à un âge de 583 ± 11 Ma (*figure 3*). Les deux points les plus concordants (B2-2a et B2-2b) fournissent des âges ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb de 582 et 587 Ma, qui encadrent l'âge discordia et permettent de le considérer comme une bonne approximation de l'âge de mise en place du massif. Il est à noter, malgré les importantes incertitudes analytiques, que cet âge est significativement inférieur à celui de 625 ± 26 Ma obtenu sur la même unité par la méthode Rb–Sr sur roche totale (Charlot, 1982). Une telle différence est peut être à relier au caractère hybride de la

Tableau. Données isotopiques U-Pb sur zircons des granitoïdes analysés. Les labels des fractions analysées correspondent à la granulométrie. A : > 150 µm ; B : 150-100 µm ; C : 100-75 µm ; D : < 75 µm ; 1 : trapus ; 2 : allongés. Abréviations : ab, abrasée ; n ab, non abrasée ; auto, automorphe ; sub-auto, subautomorphe ; aig, aiguilles ; pr 3/1, prisme L/1 ; incol, incolore ; ro, rose ou rouge ; br, brun ; limp, limpide ; op, troubles à opaques ; c, noyaux visibles. Le rapport 206/204 est celui de l'aliquote non « spikée ». Pb* : Pb radiogénique.

U-Pb isotopic data on zircons of the analyzed granitoids.

Fraction	Caractéristiques	Poids (mg)	Pb* (ppm)	U total (ppm)	206/204 C _i	Rapports isotopiques corrigés		Âges apparents (Ma)			
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
						(2 σ %)	(2 σ %)	± 2 σ	± 2 σ	± 2 σ	
Granodiorite de Tarçouate (KER 1)											
A2-2a	ab, pr 3/1 auto, ro, op, c	0,20	213,8	2 599,5	5 890	0,08617 (0,13 %)	0,70672 (0,25 %)	0,05948 (0,13 %)	532,8 ± 0,6	542,8 ± 1,1	585 ± 3
B2-2a	ab, pr 3/1 auto, ro, op, c	0,34	219,2	2 630,7	3 712	0,08904 (0,11 %)	0,73118 (0,23 %)	0,05956 (0,12 %)	549,9 ± 0,6	557,2 ± 1,0	587 ± 3
C2-2a	ab, pr 2/1 auto, ro, op, c	0,14	203,4	2 581,5	2 047	0,08358 (0,26 %)	0,68388 (0,39 %)	0,05934 (0,14 %)	517,5 ± 1,3	529,1 ± 1,6	580 ± 3
D2-2a	ab, pr 2/1 auto, ro, op, c	0,26	203,8	2 560,9	2 949	0,08472 (0,22 %)	0,69441 (0,37 %)	0,05945 (0,15 %)	524,2 ± 1,1	535,4 ± 1,5	584 ± 3
B2-2b	ab, pr 3/1 auto, ro, limp	1,36	198,7	2 378,6	9 808	0,08970 (0,11 %)	0,73449 (0,18 %)	0,05939 (0,07 %)	553,7 ± 0,6	559,2 ± 0,8	582 ± 1
D2-2b	ab, pr 2/1 auto, ro, op, c	0,11	219,0	2 683,9	4 105	0,08738 (0,12 %)	0,71627 (0,20 %)	0,05945 (0,08 %)	540,0 ± 0,6	548,5 ± 0,8	584 ± 2
Gabbro-diorite de Tarçouate (KER 7)											
A2-2a	ab, frag. de zircons 4/1, br	0,86	173,0	2 213,8	2 829	0,08076 (0,29 %)	0,65485 (0,44 %)	0,05881 (0,15 %)	500,7 ± 1,4	511,5 ± 1,8	560 ± 3
B2-2a	ab, pr 3/1 sub-auto, br, op	0,48	300,4	3 594,8	2 456	0,08737 (0,19 %)	0,70790 (0,33 %)	0,05877 (0,15 %)	539,9 ± 1,0	543,5 ± 1,4	559 ± 3
C2-2a	ab, pr 2/1 sub-auto, br	0,17	321,2	3 904,2	2 707	0,08600 (0,17 %)	0,69724 (0,27 %)	0,05880 (0,11 %)	531,8 ± 0,9	537,1 ± 1,1	560 ± 3
B2-1	ab, pr 3/1 auto, limp, jaune	3,76	265,2	3 150,4	4 760	0,08865 (0,30 %)	0,71902 (0,36 %)	0,05883 (0,07 %)	547,5 ± 1,6	550,1 ± 1,5	561 ± 2
Granite des Aït Makhlof (IGH 3)											
B1-1a	ab, pr 3/1 auto, ro	0,15	83,8	215,6	1 434	0,33123 (0,25 %)	5,78019 (0,47 %)	0,12656 (0,24 %)	1 844,3 ± 4,1	1 943,4 ± 4,1	2 051 ± 5
B2-1a	n ab, aig, pr 4/1 auto, limp	0,10	150,9	369,5	81	0,37539 (0,61 %)	6,57653 (1,26 %)	0,12706 (0,79 %)	2 054,7 ± 10,6	2 056,2 ± 11,0	2 057 ± 13
C1-1a	ab, pr 2/1 auto, ro	0,39	115,7	304,2	3 649	0,37112 (0,18 %)	6,48218 (0,28 %)	0,12668 (0,10 %)	2 034,7 ± 3,2	2 043,5 ± 2,5	2 052 ± 4
B2-1b	ab, pr 2/1 auto, ro	0,10	146,5	389,7	7 006	0,36801 (0,09 %)	6,41263 (0,17 %)	0,12638 (0,08 %)	2 020,0 ± 1,5	2 034,0 ± 1,5	2 048 ± 2
Granite de Sidi Saïd (TB 12)											
B1-2	ab, pr 3/1 sub-auto, br	0,37	94,9	334,8	1 555	0,27828 (0,09 %)	4,67857 (0,18 %)	0,12193 (0,09 %)	1 582,7 ± 1,3	1 763,4 ± 1,5	1 985 ± 2
B2-2	ab, pr 5/1 sub-auto, ro à br	0,87	97,4	388,2	1 267	0,24709 (0,08 %)	4,15268 (0,14 %)	0,12189 (0,07 %)	1 423,4 ± 1,0	1 664,7 ± 1,2	1 984 ± 2
B2	n ab, pr 3/1 auto, ro	0,53	53,5	198,3	1 595	0,26481 (0,13 %)	4,45471 (0,25 %)	0,12201 (0,13 %)	1 514,4 ± 1,7	1 722,6 ± 2,1	1 986 ± 2
C1-2	ab, pr 2/1 sub-auto, br	0,58	95,3	363,1	967	0,25840 (0,14 %)	4,34925 (0,22 %)	0,12207 (0,09 %)	1 481,6 ± 1,8	1 702,8 ± 1,8	1 987 ± 2
Granite de Taourgha (GRF)											
B2-1	ab, pr 2/1 sub-auto, limp	0,49	21,2	396,6	1 654	0,05284 (0,09 %)	0,43129 (0,21 %)	0,05920 (0,13 %)	331,9 ± 0,3	364,1 ± 0,6	574 ± 3
C1-1	ab, pr 2/1 sub-auto, limp	0,41	23,4	267,7	2 212	0,08651 (0,15 %)	0,70638 (0,23 %)	0,05922 (0,08 %)	534,8 ± 0,8	542,6 ± 1,0	575 ± 2
C2-1	ab, pr 2/1 sub-auto, limp	0,45	22,2	249,2	765	0,08902 (0,13 %)	0,72661 (0,31 %)	0,05920 (0,19 %)	549,7 ± 0,7	554,6 ± 1,3	575 ± 4
B2-2	ab, pr 2/1 sub-auto, limp	0,43	25,5	284,0	196	0,08631 (0,16 %)	0,70526 (0,53 %)	0,05927 (0,41 %)	533,7 ± 0,8	541,9 ± 2,2	577 ± 9

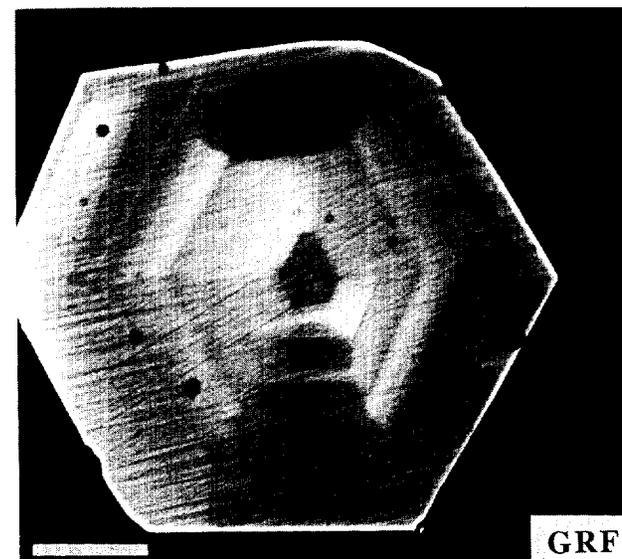
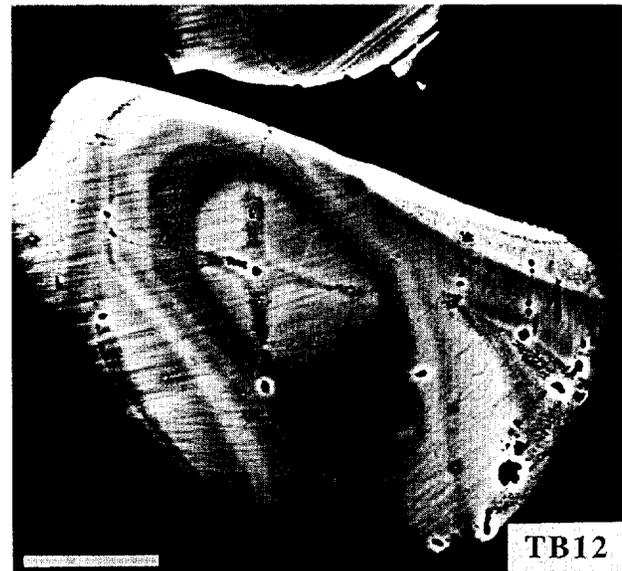
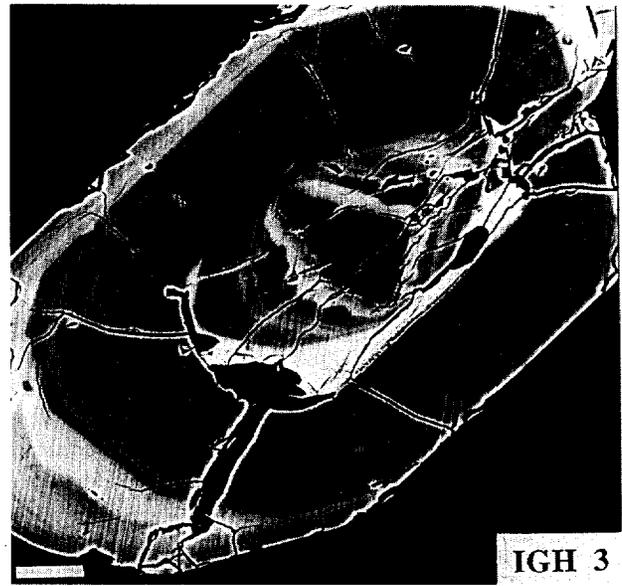
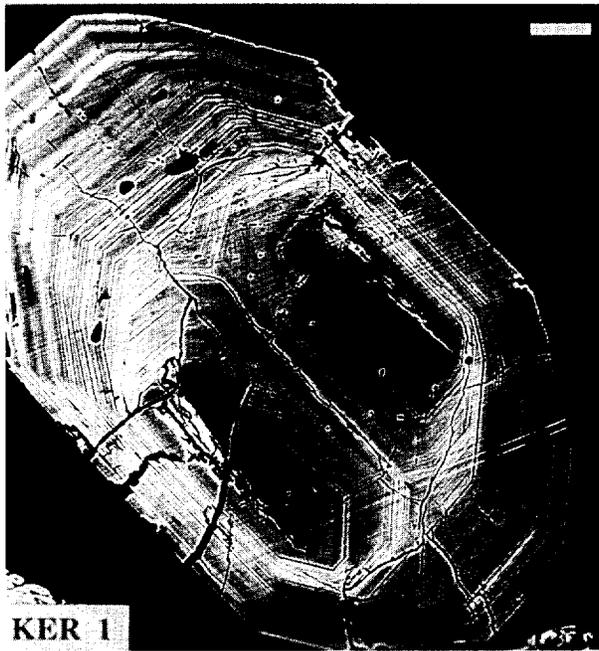


Figure 2. Photographies MEB (électrons rétrodiffusés) des zircons des faciès étudiés (voir texte). La barre d'échelle représente 20 μm .

SEM imagery (backscattered mode) of representative zircons from the studied granitoids (see text). Scale bar: 20 μm .

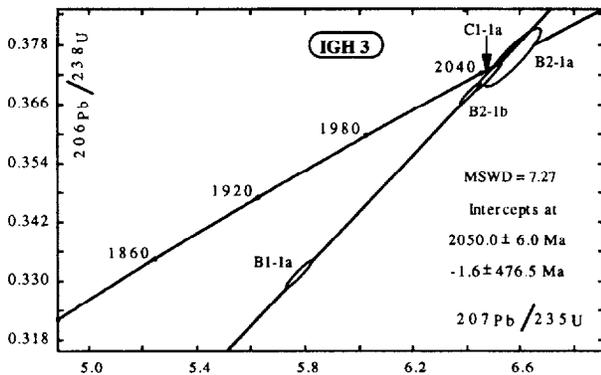
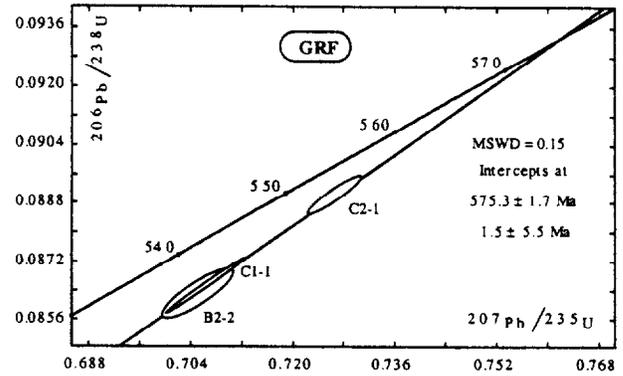
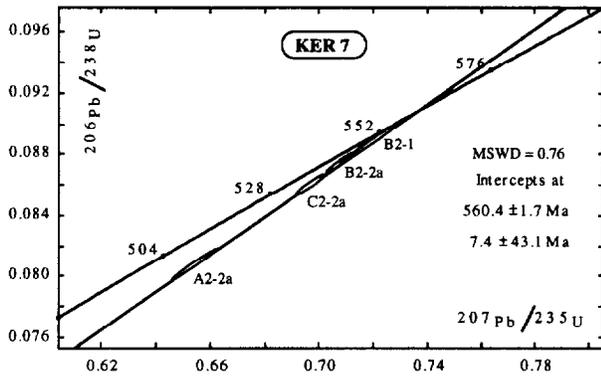
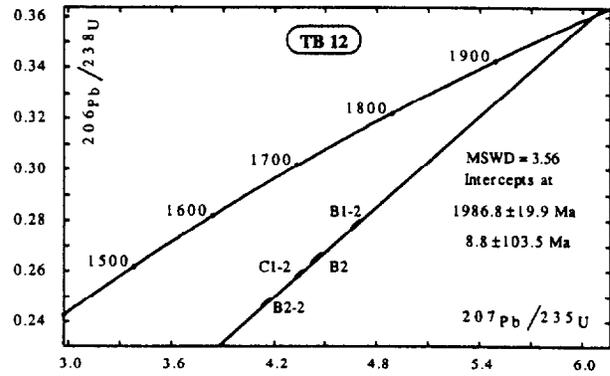
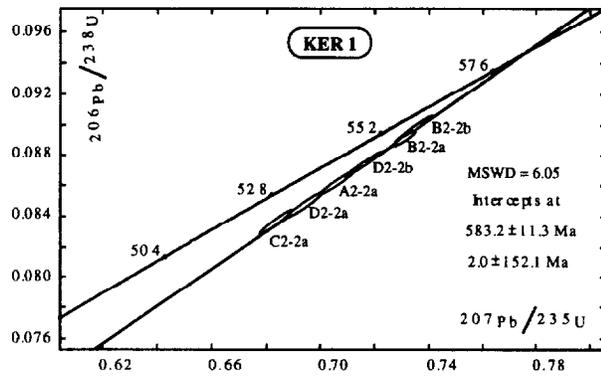


Figure 3. Diagrammes Concordia. KER 1 : granodiorite de Tarçouate ; KER 7 : gabbro-diorite de Tarçouate ; IGH 3 : granite des Aït Makhlof ; TB12 : granite de Sidi Saïd ; GRF : granite de Taourgha (le point B2-1 est très discordant mais sur la discordia).

Concordia diagrams. KER 1: Tarçouate granodiorite; KER 7: Tarçouate gabbro-diorite; IGH 3: Aït Makhlof granite; TB12: Sidi Saïd granite; GRF: Taourgha granite (point B2-1 is very discordant but on the discordia).

granodiorite de Tarçouate, intimement associée à un complexe gabbro-dioritique, s'exprimant au niveau Rb–Sr par une droite de mélange vieillissant artificiellement l'âge.

La gabbro-diorite (KER 7), prélevée à proximité d'une zone de contact avec la granodiorite décrite ci-dessus, est une roche sombre à grain moyen, texture équilibrée et riche en hornblende, plagioclase (oligoclase–andésine), tandis que le quartz est peu abondant et intergranulaire. Les minéraux accessoires sont représentés par du sphène en cristaux millimétriques, du zircon et de l'apatite. L'échantillon a une composition de diorite métalumineuse à caractère alcalin, comme la granodiorite, et riche en Ba, Sr et terres rares. La répartition typologique des zircons est très étendue, essentiellement centrée sur les types S2–S8–S3. Cette distribution est identique à celle des zircons de la granodiorite KER 1 associée. Au MEB (figure 2), ils présentent une structure nébulitique marquée par une alternance

de taches claires et sombres masquant la zonation primaire et sans noyau individualisé. Cette structure est comparable à celles décrites par Pidgeon (1992) dans les zircons recristallisés. Dans le diagramme Concordia (figure 3), les points analytiques de la gabbro-diorite sont bien alignés ($MSWD = 0,76$) le long d'une discordia directe, dont l'intercept supérieur donne un âge de 560 ± 2 Ma, confirmé par l'existence d'un point subconcordant (B2-1 : 2,3 % de discordance — âge $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 561 ± 2 Ma). Cet âge est sensiblement inférieur à celui établi pour la granodiorite associée (583 ± 11 Ma), ce qui est en désaccord avec les observations de terrain indiquant un synchronisme de mise en place pour les deux unités. Il est toutefois à noter que, contrairement aux zircons de la granodiorite, qui présentent des structures magmatiques bien préservées, ceux de la gabbro-diorite se caractérisent par des structures internes nébulitiques

pouvant s'interpréter comme issues d'une importante recristallisation (Pidgeon, 1992), ayant induit un réajustement de leur système isotopique U–Pb. La différence d'âge entre la granodiorite et la gabbrodiorite pourrait s'expliquer alors par une recristallisation importante des zircons de haute de température de la gabbro-diorite sous l'effet d'un métamorphisme ultérieur à la mise en place affectant peu ceux de la granodiorite. Toutefois, aucune trace de métamorphisme postérieur à la mise en place de la gabbro-diorite n'existant dans cette région, cette hypothèse n'est pas confirmée. La deuxième hypothèse envisageable suppose la genèse de la granodiorite à partir d'un protolithe à peine plus vieux que l'âge de mise en place du massif, ce qui vieillirait artificiellement son âge de mise en place. Nous n'avons pas de données précises suffisantes pour conforter ou infirmer cette dernière hypothèse.

4.2. Le granite de Taourgha (GRF)

Ce granite post-tectonique a été prélevé à 3 km au sud-est de Tamousift (Bas Drâa), dans une petite intrusion rattachée à un ensemble de massifs circonscrits plurikilométriques. Il est porphyroïde à feldspath potassique fortement perthitique, plagioclase (oligoclase \pm albitisé), biotite et quartz interstitiel, avec comme minéraux accessoires : zircon, apatite et sphène. C'est un leucogranite ferrifère à caractère fortement alcalin ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 9\%$) et riche en Ba, Rb, Zr et terres rares. Les zircons du granite de Taourgha, de petite taille, sont incolores à rose clair, transparents et limpides. Les observations au MEB (figure 2) montrent l'existence de structures formées par

l'alternance de zones grises et blanches, caractérisant une zonation du type oscillatoire, fréquemment « en secteur » (*sector zoning*), sans noyau observable. Dans le diagramme Concordia (figure 3), les points analytiques du granite de Taourgha s'alignent le long d'une bonne discordia directe (MSWD = 0,15), dont l'intercept supérieur donne un âge de 575 ± 2 Ma. Celui-ci, confirmé par l'âge $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (575 ± 4 Ma) d'une fraction peu discordante (4,5 % de discordance), peut être interprété comme celui de la mise en place du granite de Taourgha.

5. Conclusion

Notre étude dans le Bas Drâa et Igherm, a permis de confirmer, aux écarts analytiques près, la validité des âges Rb–Sr éburnéens et panafricains établis par Charlot (1982) dans l'Anti-Atlas occidental. Or, il n'y a pas de raison a priori de différencier le Kerdous des deux boutonnières voisines, sauf à imaginer que des accidents majeurs situés sous la couverture sédimentaire paléozoïque séparent des domaines géotectoniques, distincts à l'origine, comme cela a été envisagé par Choubert (1963) et Leblanc et Lancelot (1980). Hormis une telle hypothèse non vérifiée, nos données tendent à assurer la validité de l'âge Éburnéen des granites de Tahala et de Tasserhirt (Charlot, 1982) dans le Kerdous et donc de confirmer le caractère polycyclique de cette ceinture. Une étude complémentaire U–Pb sur les granites de Tahala et de Tasserhirt serait utile, afin de vérifier leur âge Éburnéen.

Remerciements. Les auteurs remercient M. Ikenne et H. Nachit, de la faculté des sciences d'Agadir, pour leur collaboration et l'échantillonnage de terrain.

6. Références

- Charlot R. 1982. Caractérisation des événements éburnéens et panafricains dans l'Anti-Atlas marocain : apport de la méthode géochronologique Rb–Sr, *Notes et Mém. serv. géol. Maroc*, 313, 106 p.
- Choubert G. 1963. Histoire géologique du précambrien de l'Anti-Atlas, *Notes et Mém. serv. géol. Maroc*, 162, 352 p.
- Choubert G. et Faure-Muret A. 1970. Principales caractéristiques du précambrien de l'Anti-Atlas, *Notes et Mém. serv. géol. Maroc*, 229, 7–24
- Hassenforder B. 1987. La tectonique panafricaine et varisque de l'Anti-Atlas dans le massif de Kerdous (Maroc), *Thèse*, Université de Strasbourg, 249p., en dépôt à la Soc. géol. France (Paris)
- Ikenne M., Gasquet D., Barbey P. et Macaudière J. 1997. Relations entre déformation, métamorphisme et magmatisme dans le paléoprotérozoïque du massif du Bas Drâa (Anti-Atlas occidental, Maroc), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 324, série IIa, 237–243
- Jeannette D., Benziane F. et Yazidi A. 1981. Lithostratigraphie et datation du Protérozoïque de la Boutonnière d'Ifni, *Precamb. Res.*, 14, 363–378
- Krogh T.E. 1973. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 505–511
- Krogh T.E. 1982. Improved accuracy of U–Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 637–649
- Leblanc M. et Lancelot J.-R. 1980. Interprétation géodynamique du domaine panafricain (Précambrien terminal) de l'Anti-Atlas (Maroc) à partir de données géologiques et géochronologiques, *Can. J. Earth Sci.*, 17, 142–155
- Nachit H. 1994. Contribution à la typologie des granitoïdes, pétrogenèse et pétrologie structurale du batholite panafricain du cercle de Tafraoute (Boutonnière de Kerdous, Anti-Atlas occidental, Maroc). *Thèse*, Université d'Agadir, Maroc, 465 p.
- Nachit H., Barbey P., Pons J. et Burg J.-P. 1996. L'Éburnéen existe-t-il dans l'Anti-Atlas occidental marocain ? L'exemple du massif du Kerdous, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 322, série IIa, 677–683
- Parrish R.R., Roddick J.C., Loveridge W.D. et Sullivan R.W. 1987. Uranium–lead analytical techniques at the Geochronology Laboratory, Geological Survey of Canada, in : Radiogenic age and isotopic studies : Report 1, *Geol. Surv. Canada*, Paper 87-2, 3–7
- Pidgeon R.T. 1992. Recrystallisation of oscillatory zoned zircon: some geochronological and petrological implications, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 463–472
- Pupin J.P. 1980. Zircon and granite petrology, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 463–472
- Stacey J.S. et Kramers J.D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26, 207–221